

## EVOLUTION IM STIRNRADBEREICH: JE ZWEI TECHNIKEN IN EINER MASCHINE

Verzahnungsfräsen und klassisches Fingerfräsen in einer Aufspannung – die neue Baureihe HF-M von Klingelnberg kombiniert beide Techniken in einer Maschine. So lassen sich Pfeilverzahnungen zuverlässig und reproduzierbar herstellen. Dafür wird die bewährte Verzahnungsfräsmaschine HF um die Zusatzfunktion „Fingerfräsen“ erweitert. Noch einfacher lässt sich eine zweite Option einbauen: Der „Facer“ integriert das Entgraten und Anfasen in die Verzahnungsfräsmaschine und macht damit manuelle Arbeiten überflüssig. Mit diesen jüngsten „Familienmitgliedern“ aus dem Hause Klingelnberg geht die HF-Baureihe im Stirnradbereich nun in „die nächste Generation“.

**P**feilverzahnung und Entgraten – zwei Funktionen, die bislang technisch aufwendig mit mehreren Maschinentypen bzw. manuell durchgeführt werden. Ab- und Umrüstprozesse aber kosten Zeit und bergen hinsichtlich der Bauteilqualität Risiken. Gleiches gilt für die manuelle Bearbeitung. Deswegen hat Klingelnberg im Stirnradbereich das Anwendungsspektrum seiner Verzahnungsfräsmaschinen diesbezüglich erweitert: Sowohl das Entgraten und Anfasen als auch die Pfeilverzahnung können jetzt in einer Aufspannung auf Verzahnungsmaschinen der HF-Baureihe erfolgen – dank der Zusatzfunktion „Facer“ und der neuen Baureihe HF-M.

Welche Vorteile beispielsweise die in der HF-M-Baureihe integrierte Pfeilverzahnung hinsichtlich der Produktivität bringt, belegen die Zahlen zweier authentischer Referenzprojekte: Von 45 Stunden auf 6,5 Stunden und von 60 Stunden auf 9,5 Stunden – so lassen sich die Ergebnisse zusammenfassen. Das erste Werte-

paar gilt für die Bearbeitungszeit eines Kundenbauteils mit 99 Zähnen und Modul 8,8 mm ( $d_a=1023$  mm), das zweite für eine Welle mit 22 Zähnen und Modul 8,8 mm sowie einem Außendurchmesser von 271 mm. Die erreichten Qualitäten im Profil entsprachen dabei DIN 7 oder besser, in der Flankenlinie DIN 4 oder besser. Der Zeitvorteil ist dabei abhängig vom Bauteil und den Qualitätsanforderungen. Liegt der Fokus auf der Bauteilqualität, sind jeweils zwei bis drei Qualitätsstufen besser erreichbar. Bei einem Bauteil mit vielen Zähnen fällt der Zeitvorteil mehr ins Gewicht als bei kleineren Zahnzahlen.



Abb. 1: HF-Grundmaschine

## Auflistung Modelle HF-Baureihe

HF	650	1000	1250	1600	2000
Werkstück-Ø max. (mm)	650 (900*)	1.000	1.250	1.600	2.000
Axialschlittenweg ü. Tisch (mm)	1.000	1.000 (1.760*)			
Fräserdurchmesser max. (mm)	290	385			
Optionaler Innenfräskopf	–	F3**	F2**/F3**		
Zahnfuß-Ø [0° Helix] min. (mm)		500	500/800		

HF	2400	3000	4000	6000	8000
Werkstück-Ø max. (mm)	2.400	3.000	4.000	6.000	8.000
Axialschlittenweg ü. Tisch (mm)		1.760		1.500 (2.000*)	
Fräserdurchmesser max. (mm)	385	500		500	
Optionaler Innenfräskopf		F3**/F2**			F1**
Zahnfuß-Ø [0° Helix] min. (mm)		500/800			800

(Technische Änderungen vorbehalten)

\* optional erhältlich \*\* Profilformfräser

## HF-BAUREIHE

### Maschinen-Design

- Maschinenbett als Ein- oder Mehrbettvariante
- Doppel-V-Führung (beste Dämpfungseigenschaften)
- Vertikales Achskonzept (optimaler Spänefluss)

### Torque-Antrieb im Maschinentisch

- Hohe Regelungssteifigkeit
- Ohne mechanischen Kontakt (im Gegensatz zu Schneckenradantrieb)
- Spiel- und verschleißfrei, temperaturstabil
- Große Tischbohrung

### Werkzeugschnittstelle Capto®

- Hohe Grundstabilität und -genauigkeit
- Übertragung hoher Drehmomente
- Hohe Biegesteifigkeit
- Selbstzentrierend

### Gegenhalter

- V-Führungen
- Hohe Wiederholgenauigkeit
- Einstellbare Klemmkraft
- Hydraulisch oder NC-gesteuert
- Spitze abklappbar
- Verschiedene Lünetten verfügbar
- Automatische Klemmung über vier Hydraulikzylinder



Abb. 2 und 3: Entgraten mit dem „Facer“

## Bewährtes behalten ...

Mit den Zusatzfunktionen „Facer“ und „Fingerfräsen“ hat Klingelberg eine neue Generation der bewährten HF-Baureihe auf den Markt gebracht. Dabei war wichtig, die Grundmaschine nicht zu verändern, sondern die sehr stabile Basis über Zusatzfunktionen zu erweitern. Denn die HF-Verzahnungsfräsmaschinen basieren auf einem technologischen Konzept, das bei seiner Entwicklung im Jahr 2003 Maßstäbe für die Trockenbearbeitung mit Wendeschneidplattenwerkzeugen gesetzt hat. Bis heute – mehr als zehn Jahre später – steht es immer noch für die modernste Technologie der Zahnradfertigung im Stirnradbereich.

Dabei wurden Prinzip und Praxis dieses Maschinenkonzeptes völlig neu durchdacht und zukunftsweisende neue Lösungen dem

Verzahnungsbereich zugänglich gemacht. Es wurde das Know-how aus dem Bereich der Profilschleifmaschinen konsequent auf das Verzahnungsfräsen übertragen und mit einer hohen Software-Kompetenz in einer neuen Maschine zusammengebracht. Ein Wissenstransfer, aus dem die HF-Baureihe hervorging. Ihre Kennzeichen: ein extrem stabiles Maschinengrundkonzept mit hoher Steifigkeit und besten Dämpfungseigenschaften durch Doppel-V-Führung. Das macht das Maschinenbett zum Widerstandsfähigsten seiner Klasse. Hinzu kommen ein Torque-Motor als Tischantrieb und – seinerzeit wegweisend in der gesamten Branche – das Prinzip der Trockenbearbeitung mit einem vertikal ausgelegten Maschinen-Design, so dass alle Späne abgeleitet werden. Dabei ist die HF-Baureihe zwar auf den Trockeneinsatz hin optimiert, aber auch in der Nassverzahnung optimal einsetzbar.

Um den Anforderungen der Hochleistungsbearbeitung gerecht zu werden, entwickelte Klingelberg in enger Zusammenarbeit mit Sandvik Coromant® eine besonders drehsteife Werkzeugschnittstelle mit Capto®-Aufnahme, um das Drehmoment vom Antriebsmotor sicher auf das Fräswerkzeug zu übertragen. Auch das ist ein neuer Ansatz. Lange Shiftwege

Die Trockenverzahnung ist noch heute der neueste Stand der Technik.

und große Freiräume ermöglichen sowohl den Einsatz von Standard- als auch von großen Sonderwerkzeugen und erlauben beispielsweise die gleichzeitige Montage von Form- und Wälzfräser auf dem Fräsdorn. Optional erhältliche Innenfräsköpfe unterschiedlicher Größe erweitern das Anwendungsspektrum. Je nach geforderter Leistung und Werkstückgröße ersetzen sie den Außenfräskopf an der Vertikalachse.

## ... und neuen Ideen Raum geben

Die Trockenverzahnung ist noch heute der neueste Stand der Technik – Raum für neue Ideen gibt es natürlich trotzdem. Bei der Weiterentwicklung der HF-Baureihe setzte Klingelberg auf die innovative Kombination verschiedener etablierter Technologien. Entstanden sind zwei Varianten, die dem Anwender sinnvolle und wertvolle Erweiterungen zur Verfügung stellen: Die „kleine Lösung“ integriert mit dem „Facer“ das Entgraten, die „große Lösung“ vereint Form- und Fingerfräsen in einer Maschine und bietet so eine effiziente Lösung für Verzahnungen mit Kollisionskontur, wie zum Beispiel Pfeil- und Doppelschrägverzahnungen.

## Zusatzoption „Facer“

Um im Stirnradbereich die Grate an Bauteilen zu entfernen und definierte Fasen anzubringen, kommen zum einen Sondermaschinen zum Einsatz, zum anderen wird speziell in der Einzelteillfertigung und bei Kleinserien – ganz klassisch – Zahn für Zahn manuell bearbeitet. Das schränkt nicht nur die Produktivität ein, sondern auch die Reproduzierbarkeit und die Qualität. Speziell für die Produktion von Einzelteilen und kleinen Bauteilgruppen ist daher die Zusatzfunktion „Facer“ der HF-Baureihe interessant: Sie ermöglicht das Entgraten und Anfasen direkt auf der Zahnradfräsmaschine. Die großen Vorteile dieser maschinenintegrierten Lösung: Sowohl der zusätzliche Zeitaufwand als auch die Qualitätseinbußen durch Ab- und Umrüsten entfallen.

Seit Mitte 2013 bietet Klingelberg diese Zusatzfunktion für HF-Maschinen für kleine Baugrößen bis 1.250 mm an. Der „Facer“ ist eine kostengünstige Lösung und kann optional im Gegenhalter integriert werden – ohne Einschränkung des Arbeitsraumes und der Gegenhalterfunktionalität. Der „Facer“ ermöglicht dabei qualitativ hochwertige, frei definierbare Fasen: Die Anfaseinheit

## „FACER“

- Die Anfaseinheit im Gegenhalter ermöglicht maschinenintegriertes Anfasen
- Die Maschinensoftware berechnet und steuert Konturbewegung und Abläufe
- Es werden frei definierbare Fasen mit hoher Qualität erzeugt
- Geringe Investitions- und Werkzeugkosten reduzieren die Kosten je Bauteil
- Anfasen und Entgraten von beliebigen Grad-, Schräg- und Pfeilverzahnungen
- Rüst- und Einstellarbeiten sind minimal
- Ideal für Einzelteillfertigung



Abb. 4: Höchster Produktivitätsvorteil durch Vorbearbeitung mit Formfräsworkzeugen



Abb. 5: Schruppen und Fußbearbeitung



Abb. 6: Fingerfräsen – Schichten der Flanke

**Vorführbauteil Rad (m8,8;  $d_a = 1023$  mm)**



- 1 bzw. 2 Schnitte je Flanke
- Hauptzeit bestätigt 6,5 h (bei Kunden derzeit: 45 h)
- Profil DIN 7/8 oder AGMA 10/11, Flankenlinie DIN 6/7 oder AGMA 11/12

**Vorführbauteil Welle (m8,8;  $d_a = 271$  mm)**



- 6 Schnitte je Flanke
- Hauptzeit bestätigt 9,5 h (bei Kunden derzeit: 60 h)

**„FINGERFRÄSEN“**

- HF-Basismaschine mit Zusatzfunktion „Fingerfräsen“
- Zweiter Ständer mit Fräskopf für Fingerfräswerkzeuge (mit C3-Achse zum horizontalen Schwenken)
- Prozess Formfräsen, Schruppen, Schlichten Fuß, Schlichten Flanke
- Vermessung der Werkzeuge
- Automatischer Werkzeugwechsel optional
- Software mit Unterstützung der kompletten Prozessauslegung (z. B. Vorgabe der Qualität → Schnittstrategie) auf Basis von GearPro

verfügt über drei NC-Achsen – vertikal, radial sowie Drehung für verschiedene Schrägungswinkel. Dank dieser Achsdynamik ist der „Facer“ in einem Raster von je drei Grad schrittweise schwenkbar, was eine flexible Bearbeitung von Ober- und Unterseite sowie von Schrägverzahnungen ermöglicht. Die notwendigen Bewegungskurven für die jeweilige Kontur werden vollautomatisch über die Maschinensoftware GearPro ermittelt. Auch die Zahnücke wird automatisch berechnet, so dass für den Einfädelvorgang kein manuelles Teachen notwendig ist. Wenige Eingaben seitens des Bedieners reichen, um das Anfasen auch zwischen dem Schruppen und dem Schlichten in einem insgesamt sehr kurzen Bearbeitungszeitraum auszuführen. Je nach Anforderung können unterschiedliche Fräsköpfe verwendet werden, so ermöglicht beispielsweise ein Zusatzkopf auch das kollisionsfreie Entgraten von Ritzelwellen. Neben universellen Standardwerkzeugen aus Hartmetall kommen auch CoroMill® 316 Wechselköpfe zum Einsatz, die ein besonders schnelles und kostengünstiges Auswechseln der Schneiden ermöglichen. Die Späne werden durch die Maschine entsorgt.

**Zusatzoption „Fingerfräsen“**

Für den mittleren Baugrößenbereich von 1000 mm bis 2400 mm liefert Klingelberg die HF-Verzahnungsfräsmaschinen seit Mitte dieses Jahres in der neuen Baureihe HF-M auch mit der Zusatzfunktion „Fingerfräsen“. Damit lassen sich Stirnräder mit Pfeilverzahnung sowie Verzahnungen mit eingeschränktem Werkzeugauslauf zuverlässig und reproduzierbar in einer Aufspannung herstellen. Pfeilverzahnungen spielen beispielsweise in der Fördermitteltechnik, im Bereich Lebensmittelindustrie und im Marinebereich eine Rolle.

Ähnliches leisten nach aktuellem Stand der Technik nur Fünf-Achs-Bearbeitungsmaschinen, und das auch nicht in vergleichbarer Art und Weise. Da diese Universalmaschinen nicht aus dem Verzahnungsbereich kommen, sind sie dafür auch nicht optimiert. Entsprechend dauert die Vorbearbeitung länger, die Maschinenbasis ist zudem nicht vergleichbar mit der HF-Baureihe. Ansonsten sind für Pfeilverzahnungen auch 30 bis 40 Jahre alte technologische Lösungen im Einsatz – mit den entsprechenden Pro-

duktivitätsnachteilen. Diese Maschinen stehen aufgrund hoher Wartungskosten und aufwendiger Bedienung in vielen Unternehmen zur Substitution.

Der Kunde sucht aber keine „Pfeilverzahnungsmaschine“, sondern eine solide und genaue Verzahnmaschine, die Pfeilverzahnungen bearbeiten kann. Eine Universalmaschine mit Produktivitätsnachteilen in der Vorbearbeitung sowie aufwendiger Programmierung stellt hier einen ungünstigen Kompromiss dar. Entsprechend setzte Klingelberg in der Entwicklung auch hier auf die bewährte HF-Baureihe. Die Basismaschine erhielt dabei einen zweiten Ständer mit Fräskopf für Fingerfräswerkzeuge. Die Erweiterung verfügt über vier zusätzliche Achsen und zusammen mit der Tischachse über alle erforderlichen Freiheitsgrade zur Verzahnungsbearbeitung mit Fingerfräsern. In einer Maschine sind nun die Arbeitsschritte Vorbearbeitung (Formfräsen oder Wälzfräsen), Schruppen sowie Schlichten von Fuß und Flanke integriert. Mit diesem Konzept der Vorbearbeitung mittels Verzahnungsfräsen je nach Bauteilgeometrie so nahe der Endkontur wie möglich bzw. sinnvoll ist die neue Baureihe in puncto Produktivität kaum zu schlagen. Es ist die Kombination zweier etablierter Technologien, die die HF-M zu etwas Besonderem macht: Verzahnungsfräsen mit einem Formwerkzeug kombiniert mit „Fingerfräsen“ zum Schlichten auf einer Maschine. Durch das universelle Einsatzspektrum ist die Fertigung sehr flexibel.



Dr.-Ing. Christoph  
Kühlewein

Anwendungstechnik,  
KLINGELNBERG GmbH

Die Auslegung des Prozesses und die Bedienung erfolgt komfortabel mit der Maschinenbediensoftware GearPro, die sich in der Bedienerfreundlichkeit an die konventionelle und bewährte GearPro Maschinensoftware hält. Für den Einsatz ohne menschliche Bedienung kann die Maschine mit einem automatischen Werkzeugwechsler für Schaftwerkzeuge ausgestattet werden.

Beide Funktionen werden übrigens nicht in einer Maschine zum Einsatz kommen: Der „Facer“ ist eine „kleine“ und kostengünstige Option, die rein auf das Entgraten und Anfasen ausgelegt ist und sich ohne zusätzlichen Platzbedarf in die Maschine integrieren lässt. Die „große“ Option des „Fingerfräsens“ umfasst eine wesentlich aufwendigere Technologie und kann die Entgratungsfunktion ebenfalls übernehmen. ◆

## Prozess „Fingerfräsen“

### 1. FORMFRÄSEN (GASHING)

- Verwendung von Formfräsern (Gashern) oder Wälzfräsern
- Vorbearbeitung mit maximaler Produktivität

### 2. SCHRUPPEN (ROUGHING)

- Verwendung von Standardwerkzeugen (zylindrisch, konisch, Kugel)
- Entfernen Restmaterial „Rampe“
- Ggf. Entfernen Restmaterial bei Einsatz Universalgasher in 1.

### 3. SCHLICHTEN (FINISHING) FUß

- Verwendung von Universal-Kegel-Kugel-Fräsern oder ggf. angepassten „Fingerfräsern“

### 4. SCHLICHTEN (FINISHING) FLANKE

- Verwendung von Radiusfräsern
- Werkzeugwahl/Frässtrategie abhängig von:
  - Qualitätsanforderungen (max. Formabweichung)
  - Fertigungsstückzahlen
  - Verfügbarkeit der Werkzeuge